

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ

К-ты техн. наук О.М.Пустовойтова, С.Н.Камчатная, Е.Ф.Орел, аспир. С.Ю.Набока

СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРУД З УРАХУВАННЯМ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ

К-ти техн. наук О.М.Пустовойтова, С.М.Камчатна, Є.Ф.Орел, аспир. С.Ю.Набока

STRATEGIES OF THE DESIGN OF THE FACILITIES TAKING INTO ACCOUNT PROGRESSIVE DESTRUCTION

Ph.D. Pustovoitova O., Kamchatna S., Orel Y., postgraduate Naboka S.

В статье рассмотрены основные положения о прогрессирующих разрушениях, проанализированы исследования зарубежных и отечественных ученых в данной области. Приведены существующие на сегодняшний день методы предупреждения прогрессирующих разрушений и возникающие при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок на сооружения проблемы. Предложены направления по разработке мероприятий и проектных решений по предотвращению прогрессирующих разрушений.

Ключевые слова: прогрессирующее разрушение, методы предотвращения прогрессирующего разрушения, нормативные требования.

У статті розглянуті основні положення про прогресуючі руйнування, проаналізовані дослідження закордонних і вітчизняних учених у даній області. Наведені існуючі на сьогоднішній день методи попередження прогресуючих руйнувань і виникаючі впливи при експлуатаційних і аварійних навантаженнях на спорудження проблеми. Запропоновані напрямки по розробці заходів і проектних розв'язків по запобіганню прогресивних руйнувань.

Ключові слова: прогресуюче руйнування, методи запобігання прогресуючого руйнування, нормативні вимоги.

With the loss of building structures performance of a so-called effect of "dominoes". This phenomenon is consistent involvement in the development process of the destruction of the new groups of constructions up to the complete destruction of the object and develops as a result of the combined exposure to a particular workload and the additional load on the structures that have lost their performance. The most common cause of progressive destruction are external effects caused by man-made or natural factors. In the current regulations are given the degree of protection level and the number of structural and non-structural measures taken to reduce terrorist and other risks could lead to the collapse of buildings, as well as protect the building structure from the progressive collapse, progressive collapse caused by terrorist activities. The article describes the main provisions of the progressive destruction of the analyzed studies of foreign and domestic scientists in the field. Given the currently existing methods to prevent progressive damage arising from action and operational and emergency loads on structures problems. The directions for the development of activities and design solutions to prevent progressive damage

Keywords: progressive destruction methods to prevent progressive collapse, regulatory requirements.

Введение. Утрата отдельными строительными конструкциями своих эксплуатационных качеств может приводить к появлению и развитию так называемого эффекта «домино» – последовательного вовлечения в развитие процесса разрушения

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

новых групп строительных конструкций вплоть до полного разрушения объекта [1].

Этот явление прогрессирующего обрушения объектов при аварийных отказах строительных конструкций развивается в результате комбинированного особого воздействия на них рабочей нагрузки и дополнительной нагрузки от конструкций, утративших свои эксплуатационные качества.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В настоящее время в связи с:

- отсутствием четких требований и рекомендаций в нормативной литературе по предупреждению прогрессирующих разрушений;

- отсутствием алгоритма по проектированию зданий и сооружений, защищенных от прогрессирующего разрушения;

- широким использованием компьютерных технологий без четкого понимания взаимоотношения между расчетной и конструктивной схемой;

- отсутствием контроля за исполнение проектных и строительных работ;

- нарастанием террористической деятельности;

- отсутствие единого метода и стратегии, обеспечивающих устойчивость конструкции здания и сооружения к прогрессирующему разрушению при запроектованных аварийных ситуациях [2].

появилась необходимость осуществления ряда мероприятий по противодействию разрушениям.

Необходимость решения этой задачи в процессе проектирования здания является важнейшей составляющей в обеспечении безопасности здания при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок.

Чаще всего причиной прогрессирующего разрушения являются внешние воздействия, вызванные техногенными или природными факторами. Наибольший процент возникновения прогрессирующих разрушений занимают хрупкое разрушение (при пожарах и

т.д.) и потеря устойчивости (взрывы, землетрясения), в меньшей степени усталостное и вязкое разрушение.

Предупредить прогрессирующее разрушение возможно следующими способами проектирования зданий:

- снижение уровня риска (прямой расчет «риска», дифференцированная надежность);

- использование расчетно-конструктивных решений исключающих возможные повреждения (общее упрочнение всего здания, местное усиление, взаимосвязь).

Местное усиление, то есть упрочнение наиболее чувствительных мест, трудно поддается стандартизации для включения в нормы проектирования, так как для этого нужно четко представлять характер возможных воздействий на здание, в том числе атак террористов. Конструктивная взаимосвязь элементов или непрерывность конструкции, также является способом общего или местного упрочнения. Так же в нормативных документах США [3] предлагается заменить определение «прогрессирующее разрушение» на более точное «непропорциональное разрушение».

Анализ последних исследований и публикаций. На данный момент основными документами, описывающими решения сложившегося вопроса, являются:

- Украина - ДБН В.2.2-24-2009. Будинки споруди. Проектування

- Великобритания - В8 5950 2001, В8 8110 2005а, 2005в, В8 5628 2005;

- СТБ ЕН 1990-2007 Еврокод Основы проектирования несущих конструкций» Госстандарт Минск. 2007;

- ТКП ЕН 1992-1-1-2009 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций . Часть 1-1. Общие правила для зданий. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск. 2010;

- Канада - МВСС; США - АС! 318, О5А 2003, 2005;

- РФ - Нормативы по защите зданий при ЧС, а также рекомендациям МОСКОМАРХИТЕКТУРЫ Правительства Москвы;

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

- Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения, 2006, Москва.

- Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения, Г.И. Шапиро, Э.А. Эйсман, А.С. Залесов. М.: Москомархитектуры, 2005.

- Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий, Указание Москомархитектуры от.24.08.1999 №36 1999, Москва.

- Нормы США - UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA, 2010

- Казахстан – Рекомендации по защите от прогрессирующего обрушения. Агентство Республики Казахстан по делам строительства жилищно-коммунального хозяйства, Астана 2011.

В перечисленных нормативных документах нет единого подхода по определению проблемы и формированию возможных решений, но в них объединены все перечисленные стандарты и следующие положения:

- не допустить катастрофу полного разрушения сооружения от незначительного, локального повреждения конструктивного элемента при чрезвычайных воздействиях;

- требование о создании целостной конструктивной системы, состоящей не только из необходимых, конструктивных элементов, но и необходимого минимального количества специальных связевых элементов.

Способы и методы оценки степени повреждения или эксплуатационной пригодности сооружения несколько отличаются: в одних документах ограничивается площадь повреждаемых конструкций перекрытия; в других - оценивается состояние конструкций, не вышедших из работы; а так же экономическая выгода строительства нового или восстановление старого здания.

В таблице 1 приведено сопоставление основных положений по расчету на

прогрессирующее разрушение в различных нормативных документах.

Согласно данным GSA [4] о прогрессирующем обрушении (progressive collapse): «Сооружение должно быть способно противостоять локальным повреждениям не приводящих к дестабилизации всей конструкции в целом. Выход из работы балки, колонны, плиты не должен приводить к потере несущей способности конструктивных элементов над, под и рядом расположенных пролетах от разрушенного элемента. При выходе из работы колонны и балки - колонны над разрушенным элементом не должны разрушаться, их состояние ограничивается большим прогибом». Требования данных нормативных документов [5] направлены на один конструктивный элемент и не влияют на степень защиты все конструктивной системы в целом.

Определение степени защиты, уровня и количества конструктивных и неконструктивных мероприятий принимаемых для снижения террористических и других рисков способных привести к обрушению сооружения устанавливаются [5, 6] DOD (Department of Defense), то есть документы разрабатываемые департаментом (UFC 1-200-1; UFC 3-301-01; UFC 3-310-01; UFC 4-010-01; UFC 4-010-02; UFC 4-020-01; UFC 4-023-03). Данные документы создают структуры защиты здания от progressive collapse, прогрессирующего обрушения вызванного террористическими действиями (документами UFC 4-010-01; UFC 4-010-02) и другими (UFC 4-023-03).

Приведенный выше алгоритм иллюстрирует систему безопасности инжиниринга организованную серией документов UFC, главным из которых является UFC 4-020-01, он формирует взаимную связь всех документов, а так же описывает возможные угрозы, сценарии возможных аварий, средства способные нанести урон, определяет и назначает уровни рисков, сравнивает стоимости последствий и мероприятий, направленных на повышение

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

безопасности сооружения. Документы следующего уровня UFC 4-010-01 и UFC 4-020-02. Первый документ устанавливает требования по снижению вероятности террористических действий направленных на создание ситуаций способных вызвать прогрессирующее обрушение, при этом степень защиты конструктивной системы и отдельного элемента определяется по UFC 4-023-03 [3]. Общие требования документа UFC 4-023-03[3]:

- определение категории здания по назначению и требований к проекту;
- проектные методики определения параметров работы здания в условиях прогрессирующего обрушения;
- методика связевых усилий (TF);
- методика альтернативных траекторий перераспределения усилий (AP);
- методика увеличения местной жесткости (ELR);
- дополнительные требования в зависимости от используемого материала конструктивных материалов.

Основополагающим документом в европейской системе проектирования является EN 1990. [5] Данный документ устанавливает требования к показателям сооружения по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности, надежности, дифференциации надежности, базисным переменным. Документ формирует методику расчетов по предельным состояниям с применением частных коэффициентов безопасности, при этом проверка расчетов с частными коэффициентами может выполняться детерминированным или вероятностным способами. Система нормативных документов [3, 5, 7, 9, 10] Еврокодов построена на детерминированном способе с применением проверок основанных на имеющемся опыте, но позволяет выполнять вероятностные испытания и расчеты. Проектирование сооружений в аварийных ситуациях по [2] предполагает выполнения расчетов по чрезвычайной ситуации при чрезвычайном воздействии, как описано в EN 1990, EN 1991-1-7 и EN 1992-1-1. Требования

по выполнению расчетов на особое воздействие установлены документом EN 1991-1-7. Документ не рассматривает случаи взрывов вне здания от террористических актов и военных действий. Как такового понятия прогрессирующего обрушения нет, в соответствии с EN 1990 [5] необходимо выполнять расчет по основным расчетным ситуациям, в том числе и на чрезвычайную ситуацию.

Данный расчет на особое воздействие показывает степень живучести сооружения: на идентифицированные и не идентифицированные воздействия. По определению, термин живучесть является характеристикой здания противостоять прогрессирующему обрушению. Живучесть (robustness) - свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок, без возникновения повреждений, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждения.

Выводы. Несмотря на проделанную большую работу исследователями многих стран, включая Украину, задач по разработке мероприятий и проектных решений по предотвращению прогрессивных разрушений остаётся ещё много. В настоящий период необходимы широкомасштабные как теоретические исследования в указанном направлении, так и экспериментальные подтверждения принятых исходных предпосылок в расчете зданий на прогрессирующее разрушение.

Основные положения по расчету прогрессирующих разрушений

Рекомендации по защите от прогрессирующего обрушения, Республика Казахстан	ДБН В.2.2-24-2009. Будинки споруди. Проектування	Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения, [4]	UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC) [3]	EM 1990, EN1991-1-7
<p>В качестве локальных воздействий следует рассматривать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - возникновение карстовой воронки диаметром 6 м, расположенной в любом месте – под фундаментом здания (для карстоопасных районов); - повреждение перекрытия общей площадью до 40 м²; - неравномерные осадки основания; - горизонтальная нагрузка на вертикальные несущие элементы 3,5 т для стержневых – и 1 т для пластинчатых на 1 м² поверхности рассматриваемого элемента в пределах одного этажа (коэффициент надежности по нагрузке равен единице); <p>Проект первой редакции 12 разрушение (удаление) конструкций</p>	<p>У якості локального (гіпотетичного) обвалення слід розглядати обвалення (видалення) вертикальних конструкцій одного (будь-якого) поверху будинку, обмеженого навкруги площею до 80 м² (діаметр 10 м):</p> <ul style="list-style-type: none"> - обвалення (видалення) двох стін, що перетинаються, на ділянках від місця їх перетину (наприклад, від кута будинку) до найближчого отвору в кожній стіні або до наступного вертикального перетину зі стіною іншого напрямку; - обвалення (видалення) окремої колони (пілону) або колони (пілону) з прилеглими до них ділянками стін, розміщених на одному поверсі на площі локального обвалення; - обвалення ділянки перекриття одного поверху 	<p>В качестве локального разрушения следует рассматривать разрушение (удаление) вертикальных конструкций одного (любого) этажа здания, ограниченных кругом площадью до 80 м² (диаметр 10 м) для зданий высотой до 200 м и до 100 м² (диаметр 11,5 м) для зданий выше 200 м:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) двух пересекающихся стен на участках от места их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления или участке указанного размера; б) колонн (пилонов) или колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, в том числе навесных ограждающих панелей, расположенных на 	<p>- не допускает разрушения конструктивных элементов над местом локального обрушения;</p> <ul style="list-style-type: none"> - определяется общая характеристика защиты здания от прогрессирующего обрушения при локальном разрушении отдельного конструктивного элемента по методу АТ; - система расчетов определяет общий показатель уровня защиты здания против террористических и других угроз, затем 	<p>- ограничения соответствуют меньшему из 100 м² или 15% площади на каждом из двух перекрытий на смежных, этажах, повреждение которых может возникнуть при удалении опоры, колонны или стены;</p> <ul style="list-style-type: none"> - расчетные сочетания воздействий выполнения расчетов на конкретное особое воздействие и снижение рисков при неидентифицированных воздействиях

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

<p>одного (любого) этажа здания, ограниченных – кругом площадью до 80 м² (диаметр 10 м) для зданий высотой до 200 м и площадью до 100 м² (диаметр 11.5 м) для зданий выше 200 м.</p>	<p>на площі локального обвалення.</p> <p>У всіх: випадках площа поперечного перерізу всіх вилучених вертикальних елементів, розташованих на ділянці 80 м², не повинна перевищувати для залізобетонних елементів 0,9 м², для фібробетонних елементів 0,7 м², для жорсткої арматури 15%;</p> <p>- перекриття на вказаній площі.</p> <p>Кожне перекриття висотного будинку повинне бути розраховане на сприйняття ваги ділянки перекриття вищого поверху (постійне й тривале навантаження з коефіцієнтом динамічності $k_f = 1,5$) на площі 80 м².</p>	<p>участке, не превышающем указанный размер локального разрушения;</p> <p>в) перекрытия на указанной площади.</p> <p>Для оценки устойчивости здания против прогрессирующего обрушения разрешается рассматривать лишь наиболее опасные расчетные схемы разрушения.</p> <p>Каждое перекрытие высотного здания должно быть рассчитано на восприятие веса участка перекрытия вышележащего этажа (постоянная и длительная нагрузки с коэффициентом динамичности $k_f = 1,5$) на площади 80 м² для зданий до 200 м и 100 м² для зданий выше 200 м.</p>	<p>устанавливает требуемые мероприятия</p>	<p>- проверяет работоспособность здания при конкретном особом воздействии и мероприятия по снижению риска угрозы</p>
--	--	---	--	--

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Список использованных источников

1. Кудишин Ю.И. Живучесть конструкций – важный фактор снижения потерь в условиях аварийных ситуаций. Вопросы обеспечения надежности и живучести большепролетных конструкций покрытий [Текст]/ Тезисы к НТС МГСУ. – М.: НТС МГСУ, 2008. 4-5 с.
2. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях [Текст]: учебное пособие/ Б.С. Расторгуев, А.И. Плотников, Д.З. Хуснутдинов. – М.: Изд. АСВ, 2007. - 152 с.
3. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA, [Text]/ New-York, 2010
4. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения». Г.И. Шапиро, Э.А. Эйсман, А.С. Залесов. М.: Москомархитектуры. 2005. – 231 с.
5. CEN, Eurocode 4 "Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1 : General Rules and Rules for Buildings", [Text]/ Eurocode 4, October 1992. 76 p.
6. Еврокод. Основы проектирования. Несущих конструкций [Текст]: СТБ EN 1990-2007:Госстандарт, Минск.: 2007, - 115 с.
7. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]: ДБН В.1.2 – 14: – К.: Держбуд України, 2008. – 158 с. (Державні будівельні норми України).
8. СТО 36554501-014-2008 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: НИЦ «Строительство», 2008.
9. Еврокод 2 Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий [Текст]: ТКП EN1992-1-1-2009: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.: 2010. – 143 с.
10. Еврокод 1 Воздействия: на конструкции Часть 1-7, Общие воздействия. Особые воздействия [Текст]: ТКП EN 1991-1-7-2009: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.: 2010. – 163 с.
11. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Текст]: МГСН 4-19-2005: М.: Москомархитектуры, 2005. – 112 с.
12. Рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем при чрезвычайных ситуациях. Ю.М. Стругацкий, Г.И. Шапиро, К.А. Эйсман. М.: Комплекс архитектуры, строительства, реконструкции и развития города, 2000. – 95 с.
13. Рекомендации: по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. Ю.М. Стругацкий, В.С. Коровкин, Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман. М.: Москомархитектуры, 2002. – 180 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Тимофеева Л.А.

Пустовойтова Оксана Михайловна кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А.Н.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07. E-mail: oksana_pustov@mail.ru

Камчатная Светлана Николаевна кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-67. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com

Орел Евгений Федорович кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-67. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com

Набока Сергей Юрьевич аспирант кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А.Н.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07. E-mail: 3325904490@mail.ru

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Pustovoitova Oksana, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine

Kamchatna Svitlana, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Orel Yevhen, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Naboka Sergey, postgraduate of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N. Beketov, Kharkiv, Ukraine